

УДК 621.923.1

М.Э.Иткин, Ж.А.Юсупов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРЦОВОГО ВРЕЗНОГО  
 ШЛИФОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье излагаются результаты исследования удельного съема металла  $q_m$ , износа круга  $q_k$ , сил резания  $P_z$  и  $P_y$ , а также контактных температур  $T_k$  при торцовом врезном шлифовании. Исследование проводилось с применением метода многофакторного планирования эксперимента [1, 2, 3]. Был реализован композиционный план, ядром которого являлся линейный ортогональный план. После выполнения опытов согласно линейному плану и анализа их результатов проводилась оценка приемлемости гипотезы линейности. При необходимости план достраивался до плана второго порядка и проводились дополнительные опыты.

В таблице I приведены варьируемые значения осевой подачи  $t$ , скорости круга  $v_k$  и скорости изделия  $v_u$  при реализации линейного плана.

Таблица I

| Уровень      | Режимы шлифования |               |                |                 |                |                 |
|--------------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|              | $t$ , мм/мин.     | $\lg t = x_1$ | $v_k$ , м/сек. | $\lg v_k = x_2$ | $v_u$ , м/мин. | $\lg v_u = x_3$ |
| Нижний (-I)  | 0,18              | 1,2553        | 15             | 1,1761          | 30             | 1,4771          |
| Верхний (+I) | 0,57              | 1,7559        | 35             | 1,5441          | 80             | 1,9031          |

В таблице 2 приводится план эксперимента, представляющий линейный план (выделен жирной линией), достроенный согласно рекомендациям [ 2 ] до плана второго порядка.

Аппроксимирующая функция после реализации линейного плана отыскивалась в следующем виде:

$$Y_{\alpha} = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_3 + b_{12} z_1 z_2 + b_{23} z_2 z_3 + b_{31} z_3 z_1, \quad ( I )$$

где  $b_j$  и  $b_{jk}$  - коэффициенты, подлежащие определению;  $z_j$  - безразмерные переменные.

Если выявлялась недостаточность линейной аппроксимации, производились дополнительные опыты и оценивались также квадратичные эффекты (коэффициенты  $b_{jj}$  ).

Опыты проводились на круглошлифовальном станке модели ЗБИ53У, оснащенный механизмом автоматической продольной микроподачи и вариатором для бесступенчатого изменения скорости круга. Использовался шлифовальный круг ПП400х50х203 Э925СМ,К6, на рабочем торце которого была выполнена площадка шириной 5 мм; обрабатываемый материал - ЭИ437БУ, ширина шлифуемого торца детали - 14 мм.

Линейные съем металла и износ круга замерялись соответственно микрометром и скобой с ценой деления 0,002 мм. Силы шлифования  $P_x$  и  $P_y$  измерялись двухкомпонентным динамометрическим центром с использованием тензометрического усилителя 8АНЧ-М. Контактные температуры определялись с помощью полужискусственной термопары и фиксировались на пленке осциллографом Н700.

Анализ результатов эксперимента заключался в проверке однородности выборочных дисперсий по критерию Кошрена  $G$ , оценке значимости коэффициентов аппроксимирующего уравнения по критерию Стьюдента  $t^c$  и проверке гипотезы об адекватности представления результатов эксперимента аппроксимирующим уравнением по критерию Фишера (табл. 3,4). Расчетные значения указанных критериев сопоставлялись с критическими значениями, найденными по таблицам [4] при заданных уровнях значимости  $q$  и соответствующих степенях свободы  $\nu$ .

Для определения функциональной зависимости  $q_m$ ,  $P_x$ ,  $P_y$  и  $T_k$  от режимов шлифования оказалось достаточным ограничиться линейной аппроксимацией, так как расчетные значения  $t_{12}^c$



Таблица 3

- 58 -

| Описание<br>исследуемых<br>показателей | G    | G <sub>крит</sub><br>прн<br>q=5% | t <sup>c</sup>              |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             | F    | F <sub>крит</sub><br>прн<br>q=2,5%       | Аппроксимирова-<br>ное уравнение   |
|--|------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|--|--|
|  |      |                                  | t <sup>c</sup> <sub>0</sub> | t <sup>c</sup> <sub>1</sub> | t <sup>c</sup> <sub>2</sub> | t <sup>c</sup> <sub>3</sub> | t <sup>c</sup> <sub>4</sub> | t <sup>c</sup> <sub>5</sub> | t <sup>c</sup> <sub>6</sub> | t <sup>c</sup> <sub>7</sub> | t <sup>c</sup> <sub>8</sub> | t <sup>c</sup> <sub>9</sub> |      |  |  |
| q <sub>н</sub>                         | 0,24 | 0,44<br>прн<br>β=3<br>m=8        | 72,2                        | 59,3                        | 7,8                         | 2,0                         | 1,75                        | 0,50                        | 0,25                        | 2,06                        | 1,29                        | 1,29                        | 3,38 | 3,38<br>прн<br>β=4<br>β <sub>2</sub> =24 | q <sub>н</sub> =1550t <sup>0,08</sup><br>V <sub>к</sub> , мм/мин             |
| q <sub>к</sub>                         | 0,34 | -                                | 498                         | 49,2                        | 21,1                        | 12,2                        | 11,8                        | 5,44                        | 4,94                        | -                           | -                           | -                           | -    | -  | -  |
| ρ <sub>2</sub>                         | 0,30 | -                                | 245                         | 43,4                        | 27,2                        | 4,53                        | 1,90                        | 0,70                        | 0                           | -                           | 1,42                        | 1,42                        | 3,38 | 3,38<br>прн<br>β=4<br>β <sub>2</sub> =24 | ρ <sub>2</sub> =21t <sup>0,28</sup><br>V <sub>к</sub> <sup>0,09</sup> , кг   |
| ρ <sub>у</sub>                         | 0,25 | -                                | 229                         | 36,6                        | 7,50                        | 3,29                        | 1,57                        | 0,36                        | 1,57                        | -                           | 1,48                        | 1,48                        | -    | -  | ρ <sub>у</sub> =71,6t <sup>0,08</sup><br>V <sub>к</sub> <sup>0,13</sup> , кг |
| T <sub>к</sub>                         | 0,29 | 0,41<br>прн<br>β=4<br>m=8        | 810                         | 31,1                        | 15,2                        | 25,9                        | 1,18                        | 1,25                        | 1,04                        | 2,04                        | 2,93                        | 2,93                        | 3,25 | 3,25<br>прн<br>β=4<br>β <sub>2</sub> =32 | T <sub>к</sub> =7220t <sup>0,11</sup><br>V <sub>к</sub> <sup>0,27</sup> , °C |

Таблица 4

| Описание<br>исследуемых<br>показателей | G    | G <sub>крит</sub><br>прн<br>q=2,5% | t <sup>c</sup>              |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             | F    | F <sub>крит</sub><br>прн<br>q=1% | Аппроксимирова-<br>ное уравнение |  |
|--|------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|----------------------------------|----------------------------------|--|
|  |      |                                    | t <sup>c</sup> <sub>0</sub> | t <sup>c</sup> <sub>1</sub> | t <sup>c</sup> <sub>2</sub> | t <sup>c</sup> <sub>3</sub> | t <sup>c</sup> <sub>4</sub> | t <sup>c</sup> <sub>5</sub> | t <sup>c</sup> <sub>6</sub> | t <sup>c</sup> <sub>7</sub> | t <sup>c</sup> <sub>8</sub> | t <sup>c</sup> <sub>9</sub> |      |                                  |                                  | t <sup>c</sup> <sub>10</sub>   |
| q <sub>к</sub>                         | 0,23 | 0,27<br>прн<br>β=3<br>m=18         | 584                         | 69,9                        | 26,1                        | 14,7                        | 14,6                        | 9,60                        | 6,12                        | 5,68                        | 17,3                        | 9,23                        | 2,01 | 2,62                             | 2,72                             | q <sub>к</sub> =15,5t <sup>0,3</sup><br>V <sub>к</sub> <sup>0,15</sup><br>t <sup>3,40+0,32</sup> (q <sub>н</sub> -1)e <sup>0,12</sup> q <sub>у</sub> |

$t_{12}^c$ ,  $t_{23}^c$  и  $t_{31}^c$  не превышали соответствующих допустимых значений  $t^c$  крит. (табл. 3). Чтобы определить аппроксимирующее уравнение для  $Q_k$  пришлось произвести дополнительные опыты, построив линейный план до плана второго порядка (табл. 2), так как для износа круга значения критериев  $t_{jk}^c$ , характеризующих взаимное влияние исследуемых режимов шлифования, значительно превышают  $t^c$  крит. (табл. 3). Это, повидимому, связано с различным характером износа круга при изменении  $t$  и  $V_k$  (при больших значениях  $t$  и малых значениях  $V_k$  наблюдался весьма интенсивный износ круга). Значения оцениваемых критериев для  $Q_k$ , вычисленных с учетом основных и дополнительных опытов, приведены в табл. 4.

В таблицах 3 и 4 приведены также аппроксимирующие уравнения для исследуемых показателей. Полученные уравнения могут быть использованы для назначения режимов торцового врезного шлифования.

#### Литература

1. Налымов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Изд-во "Наука", 1965.
2. Ордищев В.М. Математическое описание объектов автоматизации, М., "Машиностроение", 1965.
3. Кацаев П.Г. Оптимизация процессов обработки резанием. М, Госинти, № 2/56-70.
4. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. Вычислительный центр АН СССР, М., 1968.